

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-288271

(43)公開日 平成8年(1996)11月1日

(51)Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/31			H 0 1 L 21/31	B
21/205			21/205	
21/316			21/316	P
H 0 5 H 1/46		9216-2G	H 0 5 H 1/46	B

審査請求 未請求 請求項の数8 OL (全6頁)

(21)出願番号 特願平7-92837

(22)出願日 平成7年(1995)4月18日

(71)出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72)発明者 原 昌輝

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

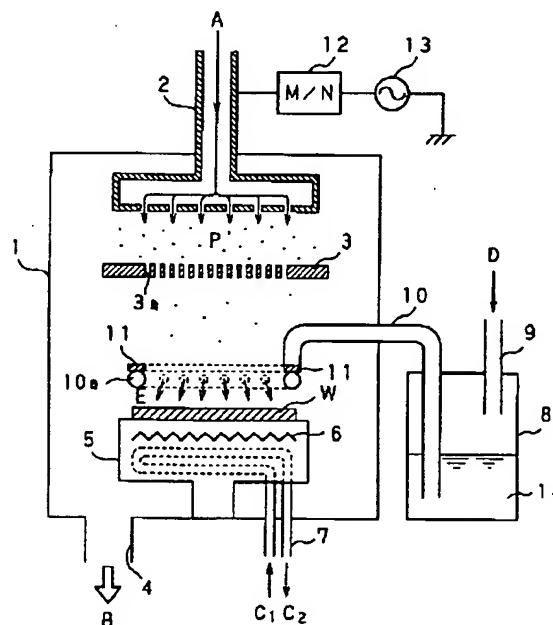
(74)代理人 弁理士 小池 晃 (外2名)

(54)【発明の名称】 成膜方法およびこれに用いる成膜装置

(57)【要約】

【目的】 平坦化特性と膜質の両方に優れた絶縁膜を成膜する。

【構成】 成膜室1中、上部電極2と基板ステージ5との間にメッシュ電極3を配し、該上部電極2を通じて $\text{SiH}_4/\text{O}_2$ 混合ガスを供給し、プラズマPを生成させる。成膜室1の外部には水を封入した溶解槽8を設け、導入管9から導入された $\text{O}_3$ をこの水に溶解させる。この水を送液管10を通じて成膜室1内へ導入し、該送液管10の先端部のリング状ノズル10aから超音波振動子11によりエアロゾル化させた状態でウェハW近傍に供給する。プラズマP中に膜中不純物の少ない $\text{SiO}_x$ が生成してこれがウェハW上に堆積する一方で、該ウェハW上では残余の $\text{SiH}_4$ ガスと溶存 $\text{O}_3$ とが反応し、膜中不純物は若干含む流動性の高い $\text{SiO}_x$ が生成する。これら両方の $\text{SiO}_x$ の混在により、良好な $\text{SiO}_x$ 層間絶縁膜が成膜される。



本発明の成膜装置の一例

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 気相中における堆積性物質の生成反応と、該気相に隣接して置かれる基板の表面における堆積性物質の生成反応とを同時進行させながら、該基板上に該堆積性物質の薄膜を成膜する成膜方法。

【請求項2】 前記気相中における堆積性物質の生成反応をプラズマCVDにより進行させる請求項1記載の成膜方法。

【請求項3】 前記薄膜の成膜終了後に前記基板のアニールを行う請求項1記載の成膜方法。

【請求項4】 前記基板の表面における堆積性物質の生成反応には、前記気相中における堆積性物質の生成反応に用いられる気体原料の構成元素と少なくとも一部共通する構成元素を含む液体原料を用いる請求項1記載の成膜方法。

【請求項5】 前記液体原料は、前記気体原料の構成元素と少なくとも一部共通する構成元素を含む単体および／または化合物を所定の液体中に溶解させることにより調製する請求項4記載の成膜方法。

【請求項6】 前記気体原料として無機シリコン系化合物と酸素系の単体および／または化合物との混合気体、前記液体原料として水に溶解させた酸素系の単体および／または化合物をそれぞれ用いることにより、前記堆積性物質の薄膜として酸化シリコン系薄膜を成膜する請求項5記載の成膜方法。

【請求項7】 基板を載置するための基板ステージを収容する成膜室と、前記成膜室内に気体原料を供給するための気体原料供給路を兼ねる上部電極と、前記上部電極と前記基板ステージとの間において該上部電極と対向するごとく配設される細孔付きの下部電極と、前記上部電極と前記下部電極との間に高周波電界を印加することにより前記気体原料のプラズマを生成させるプラズマ生成手段と、前記成膜室内の前記基板ステージ近傍に液体原料を供給する液体原料供給手段とを備えた成膜装置。

【請求項8】 前記液体原料供給手段は、前記成膜室外において所定の単体および／または化合物を所定の液体中に溶解させる溶解槽と、前記溶解槽から導出されて前記成膜室内の前記基板ステージ近傍に開口され、前記所定の単体および／または化合物の溶解された液体を該成膜室内へ導入するための送液管と、前記送液管の開口端近傍において前記液体をエアロゾルに変化させるためのエアロゾル化装置を備えてなる請求項7記載の成膜装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、たとえば半導体装置の

製造に適用される成膜方法に関し、特に膜中不純物が少なく、かつ優れた流動性を有する絶縁膜を成膜する方法に関する。また、かかる成膜を可能とする成膜装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 近年のVLSI、ULSI等の高集積化半導体デバイスにおいては、数mm角のチップ上に数百万個以上もの素子を集積させることが必要とされる。しかし、かかる高集積化に二次元的な素子の微細化に対応することはもはや困難である。このため、素子分離、容量素子、トランジスタ等の構造部へトレンチを応用したり、あるいは多層配線を採用する等、デバイス構造の三次元化が進められており、特にロジック系デバイスでは4層以上もの多層配線構造も採用されるようになっている。このような三次元的構造の内部では、トレンチや配線間スペースのアスペクト比が優に1を超えている。そこで、配線パターン信頼性やフォトリソグラフィの解像度を確保する観点から、これらトレンチや配線間スペースを層間絶縁膜で均一に埋め込む平坦化技術の重要性が益々高まっている。

【0003】 これら平坦化された絶縁膜の形成には、従来からSiH<sub>4</sub>（シラン）等の無機シリコン系の原料が広く用いられてきたが、近年ではこれに代わり、有機シリコン系化合物であるTEOS（テトラエトキシシラン）を用いることが広く検討されている。TEOSを用いるプロセスには、これと組み合わせて用いる酸素系化合物の種類に応じて幾つかのタイプが知られており、代表的なものにTEOS-O<sub>3</sub> 常圧CVD、TEOS-O<sub>2</sub> プラズマCVD、TEOS-H<sub>2</sub>O プラズマCVDがある。これらの手法は、いずれもTEOSと酸素系化合物との反応により生成する中間体ポリマーの高い流動性を利用して、埋め込み特性の向上を図ったものである。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、上述のTEOSを原料として成膜された流動性に優れるSiO<sub>x</sub>系薄膜は、膜中に未反応のエトキシ基、水分、あるいは水酸基（-OH）を相当量含有しており、ホットキャリアや耐性の劣化や配線の腐食等の不良を招く原因となっている。膜中不純物の少なさに関しては、無機化合物であるシラン系の原料ガスを用いるプラズマCVDで成膜されたSiO<sub>x</sub>系薄膜の方が優れているが、この膜では微細でアスペクト比の大きい表面段差を均一に埋め込むことができない。つまり、従来の技術では、優れた平坦化特性と優れた膜質とを両立させることが極めて困難であった。

【0005】 これに対し、以前から用いられているSiH<sub>4</sub>を用いて平坦化特性を改善しようとする試みも行われている。たとえば、SiH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>混合ガスを用いて0℃で堆積性物質の薄膜を形成し、この薄膜をアニールして脱水縮合反応を促進させることにより、膜中の

シラノールを $\text{SiO}_2$ に変化させる方法が知られている。しかし、この膜を今後のサブハーフミクロンないしクォーターミクロンのデザイン・ルールの下で半導体装置の絶縁膜として用いるには、水分含量をより一層低減させたいところである。

【0006】そこで本発明は、平坦化特性と膜質に対する要求を共に満足することができる成膜方法、およびそれを実現可能な成膜装置を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明は、上述の目的を達成するために提案されるものである。

【0008】すなわち、本発明の成膜方法は、気相中における堆積性物質の生成反応（以下、第1の反応と称する。）と、該気相に隣接して置かれる基板の表面における堆積性物質の生成反応（以下、第2の反応と称する。）とを同時進行させながら、該基板上に該堆積性物質の薄膜を成膜するものである。

【0009】ここで、前記第1の反応を進行させるための手法としては、プラズマCVDが優れている。また、前記薄膜の成膜終了後には、前記基板のアニールを行うことが好適である。

【0010】前記第2の反応には、前記第1の反応に用いられる気体原料の構成元素と少なくとも一部共通する構成元素を含む液体原料を用いることができる。ここで、ある化合物が気体原料としても液体原料としても供給可能な場合は、同一の化合物をかかると2通りの状態で供給しても、もちろん構わない。しかし、これが不可能である場合は、気体原料の構成元素の一部からなる単体物質、あるいは該構成元素の一部を含む化合物を液体原料として利用することになる。この場合の典型的な利用形態としては、前記気体原料の構成元素と少なくとも一部共通する構成元素を含む単体および/または化合物を所定の液体中に溶解させて、液体原料を調製することが挙げられる。

【0011】たとえば、前記気体原料として無機シリコン系化合物と酸素系の単体および/または化合物との混合気体、前記液体原料として水に溶解させた酸素系化合物をそれぞれ用いれば、前記薄膜として酸化シリコン系薄膜を成膜することができる。このとき用いられる無機シリコン系化合物には、たとえばシラン( $\text{SiH}_4$ )やジシラン( $\text{Si}_2\text{H}_6$ )、あるいはテトラフルオロシラン( $\text{SiF}_4$ )等のハロゲン化シランがある。特に $\text{SiF}_4$ を用いた場合には、 $\text{SiO}_x$ がFを取り込むことにより $\text{SiOF}$ となって低誘電率化され、配線間容量の低減を図ることができる。また、この無機シリコン系化合物と混合される酸素系の単体および/または化合物としては、 $\text{O}_2$ や $\text{N}_2\text{O}$ を用いることができる。 $\text{N}_2\text{O}$ を用いた場合には、 $\text{SiON}$ 膜を成膜することができる。一方、水に溶解させる酸素系の単体および/または化合物としては、 $\text{O}_3$ や $\text{H}_2\text{O}_2$ を用いることができる。この

場合、気体原料と液体原料に共通する元素とは、酸素である。したがって、第1の反応においてプラズマ中で分解されずに残ったかもしくは再結合により再生された無機シリコン系化合物を、第2の反応において水中に溶解された $\text{O}_3$ や $\text{H}_2\text{O}_2$ と反応させることになる。

【0012】なお、本発明では、上記気体原料と液体原料の使用比率を適宜変更することにより、気相中に生成する堆積性物質と基板表面で生成する堆積性物質の生成比を変化させることができ、これにより最終的に得られる薄膜の膜質や流動性を目的に応じて最適化することができる。

【0013】一方、本発明の成膜装置は、基板を載置するための基板ステージを収容する成膜室と、前記成膜室内に気体原料を供給するための気体原料供給路を兼ねる上部電極と、前記上部電極と前記基板ステージとの間において該上部電極と対向することく配設される細孔付きの下部電極と、前記上部電極と前記下部電極との間に高周波電界を印加することにより前記気体原料のプラズマを生成させるプラズマ生成手段と、前記成膜室内の前記基板ステージ近傍に液体原料を供給する液体原料供給手段とを備えたものである。上記細孔付き下部電極の構成材料として最も典型的と考えられるものは、荷電粒子のデバイ径以下の寸法の開口を有する金属メッシュである。

【0014】また、前記液体原料供給手段は、前記成膜室外において所定の単体および/または化合物を所定の液体中に溶解させる溶解槽と、前記溶解槽から導出されて前記成膜室内の前記基板ステージ近傍に開口され、単体および/または化合物の溶解された液体を該成膜室内へ導入するための送液管と、この送液管の開口端近傍において前記液体をエアロゾルに変化させるためのエアロゾル化装置を備えたものとすることができる。なお、上記溶解槽には、所定の液体に対する気体化合物の溶解度を高めるための温度制御手段や加圧手段、あるいは液体を成膜室へ送出するためのポンプ等の圧送手段が付加されていても良い。また、上記エアロゾル化装置としては、断熱膨張を利用した装置あるいは超音波振動子を利用した装置を用いることができる。

【0015】

【作用】本発明の成膜方法によれば、所望の薄膜の成膜反応は気相中（第1の反応）と基板上（第2の反応）でそれぞれ同時に進行し、膜中不純物の少ない気相中の堆積性物質（気相中生成物）が、膜中不純物はやや多いが流動性に富む基板上の堆積性物質（基板上生成物）のマトリクスの中に分散される形で基板上に堆積する。したがって、第1の反応で用いられる気体原料の構成元素と少なくとも一部共通する構成元素を含む液体原料を第2の反応で用いれば、不純物含量は異なるものの基本的には共通組成を有する堆積性物質を所望の割合で生成させることができる。これにより、従来は困難であった薄膜

の平坦化特性と膜質に対する要求を同時に満足させることができる。

【0016】本発明の装置は、上部電極と基板ステージとの間に細孔付きの下部電極を備えているため、プラズマは基板から離れた位置で生成され、しかもプラズマ中の荷電粒子は下部電極でトラップされる。したがって、本装置により実現されるプロセスは、本質的に低ダメージである。下部電極の細孔を通過できる化学種は、プラズマ中に生じた不純物の少ない気相中生成物、未反応の気体原料、解離種の再結合により再生された気体原料、中性活性種（ラジカル）等である。本装置はまた、基板近傍に液体原料を供給する手段を備えているため、上記細孔を通過した気体原料や中性活性種をこの液体原料と反応させ、流動性に優れた基板上生成物を生成させることができる。

【0017】

【実施例】以下、本発明の具体的な実施例について説明する。

【0018】実施例1

本実施例では、本発明を適用したCVD装置の一構成例について図1を参照しながら説明する。

【0019】この装置は、プラズマCVD装置とLPCVD（減圧CVD）装置のハイブリッド形式とも言える構成を有する。すなわち、SUS鋼等の金属材料からなる成膜室1の天井部には上部電極2、底面側には該上部電極2と対面する形でウェハWを載置するための温調ステージ5が配設され、さらにこれら両者の中間には、デバイ径以下の開口3aを有するメッシュ電極3が上部電極2の対向電極として配されている。上記成膜室1の内部は、排気口4を通じて矢印B方向に高真空排気されている。上記上部電極2は気体原料の流路を兼ねた中空のシャワーヘッド型電極であり、マッチング・ネットワーク12を介してRF電源13に接続されている。

【0020】上記温調ステージ5は、ヒータ6、および図示されない成膜室外のチラーから供給される冷媒を矢印C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>方向に循環させるための冷却配管7を内蔵し、ウェハWの温度を所望値に制御できるようになされている。これらヒータ6と冷却配管7は、単独使用も組み合わせ使用も可能である。上記RF電源13の周波数は、13.56MHzとした。

【0021】本装置はさらに、液体原料供給手段を備えている。この液体原料供給手段は、成膜室1の外部に設\*

SiH <sub>4</sub> 流量（上部電極2より）	50～150	SCCM
O <sub>2</sub> 流量（上部電極2より）	2～10	SCCM
成膜室内圧力	106～266	Pa
RFパワー	200	W（13.56MHz）
溶解槽内O <sub>3</sub> 圧力	2	気圧
液体原料供給量（送液管10より）	5～25	mg/分
温調ステージ温度	-10～10	℃

ここで、H<sub>2</sub>O中のO<sub>3</sub>含有量は、図2に示すH<sub>2</sub>Oに※50※に対する1気圧のO<sub>3</sub>の溶解度曲線より見積もることがで

\*置され所定の液体14を満たす溶解槽8と、この溶解槽8に所定の原料単体および／または化合物を矢印D方向から導入するための導入管9と、所定の原料単体および／または化合物の溶解された上記液体14を上記成膜室1内へ供給するための送液管10を備えたものである。上記送液管10の一端は上記液体14中に浸漬され、他端は成膜室1内においてウェハW近傍に開口するリング状ノズル10aとされている。このリング状ノズル10aには超音波振動子11が取り付けられており、溶解槽8から送出された液体14を該リング状ノズル10aの細孔からエアロゾル化させた状態で矢印E方向に放出するようになされている。

【0022】なお、上記溶解槽8には、液体14に対する所定の単体および／または化合物の溶解度を高めるための温度制御手段や加圧手段、あるいは液体を成膜室へ送出するためのポンプ等の圧送手段が付加されていても良い。

【0023】この装置においては、プラズマPは上部電極2とメッシュ電極3との間に生成されるが、イオン等の荷電粒子はすべてメッシュ電極3でトラップされる。成膜室1内の排気流に乗ってメッシュ電極3の開口3aを通過してウェハW側へ引き出された未反応の気体原料、気相中生成物、中性活性種等の化学種は、ウェハW表面においてその近傍から供給される液体原料と反応し、基板上生成物を生成する。これら気相中生成物と基板上生成物とが混合してウェハW上に堆積することにより、成膜反応が進行する。

【0024】実施例2

本実施例では、実施例1で上述したCVD装置を用い、また気体原料としてSiH<sub>4</sub>/O<sub>2</sub>混合ガス、液体原料としてO<sub>3</sub>を溶解させたH<sub>2</sub>Oをそれぞれ用いることにより、微細なAl系配線パターンを被覆するSiO<sub>x</sub>層間絶縁膜を成膜した。

【0025】本実施例で用いたサンプル・ウェハは、図3に示されるように、8インチ径の絶縁基板21上に高さ1μmのAl系配線パターン22が0.3μmのライン・アンド・スペースをもって形成されたものである。ここで、配線間スペースのアスペクト比は3以上と大きい。このウェハを温調ステージ5上にセットし、一例として下記の条件でCVDを行った。

【0026】

きる。ただし、上述の条件では溶解槽8内の $O_3$ の圧力を2気圧に維持しているため、ヘンリーの法則を適用すると、溶存 $O_3$ 量は図2の曲線から読み取れる値の2倍となる。

【0027】上記CVDの過程では、まずプラズマP中において $SiH_4$ と $O_2$ が反応することにより、 $-OH$ 基や残留水分等の膜中不純物の少ない $SiO_x$ 粒子が気相中生成物として生成した。一方、ウェハWの表面では、残余の $SiH_4$ と $H_2O$ 中に溶解された $O_3$ とが反応し、膜中不純物のやや多い $SiO_x$ 膜が基板上生成物として生成した。これら気相中生成物と基板上生成物が混合して堆積した。この結果、図4に示されるように、大きなアスペクト比を有する配線間スペースをボイドを発生させることなく良好に埋め込み、表面を略々平坦化し、かつ全体としての膜質にも優れた $SiO_x$ 層間絶縁膜23を形成することができた。

【0028】ここで、図5に、上記 $SiO_x$ 層間絶縁膜23の組織を透過型電子顕微鏡で観察した様子を模式的に示す。この図より、流動性の高い基板上生成物23aのマトリクス中に、島状の気相中生成物23bが分散されている様子が明らかである。

【0029】CVD終了後、 $420^\circ C$ 、10分間のアニールを行うことにより、 $SiO_x$ 層間絶縁膜23の残留水分を除去し、膜質の一層の改善を図ることができた。これにより、 $SiO_x$ 層間絶縁膜23の膜中不純物に起因するAl系配線パターン22の腐食を抑制することができた。

【0030】なお、このアニールは、冷却配管7への冷媒供給を停止し、ヒータ6のみを作動させれば温調ステージ5上でも理論上は実施可能である。しかし、真空断熱下では温調ステージ6とウェハWとの間の熱伝導効率が不足するため、ウェハWを成膜室1の外へ一旦取り出して別装置にてアニールを行うか、あるいは加熱ステージを有する別チャンバを上記成膜室1に接続したマルチチャンバ型の装置を用いることが特に望ましい。

【0031】以上、本発明を2例の実施例について説明したが、本発明はこれらの実施例に何ら限定されるものではない。たとえば、上部電極2を通過して供給される $O_2$ は、 $N_2O$ に替えても良い。この場合、成膜される薄膜は $SiON$ 膜となる。また、上部電極2から供給される $SiH_4$ を $SiF_4$ に替えると、 $SiO_x$ よりも誘電率の低い $SiOF$ 膜を成膜することができる。さらに、上記送液管10より供給される液体原料としては、 $O_3$

を溶解させた $H_2O$ に替えて過酸化水素水を用いても良い。

【0032】その他、CVD装置の構成、サンプル・ウェハの構成、ウェハ上の各部の寸法、CVD条件等の細部はいずれも適宜変更が可能である。

【0033】

【発明の効果】以上の説明からも明らかなように、本発明によれば、従来は両立困難であった優れた膜質と優れた平坦化特性とを共に満足する成膜を行うことができる。本発明は、特に半導体装置の絶縁膜の成膜に適用された場合に極めて有効であり、半導体装置の高集積化、高性能化、高信頼化に大きく貢献するものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明を適用したCVD装置の一構成例を示す模式的断面図である。

【図2】 $H_2O$ に対する1気圧の $O_3$ の溶解度曲線である。

【図3】本発明を適用した $SiO_x$ 層間絶縁膜の成膜プロセスで用いたサンプル・ウェハの構成を示す模式的断面図である。

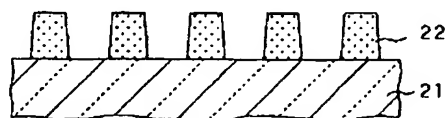
【図4】図3のサンプル・ウェハ上の微細な配線間スペースが $SiO_x$ 層間絶縁膜で良好に埋め込まれた状態を示す模式的断面図である。

【図5】図4の $SiO_x$ 層間絶縁膜の組織の電子顕微鏡観察図である。

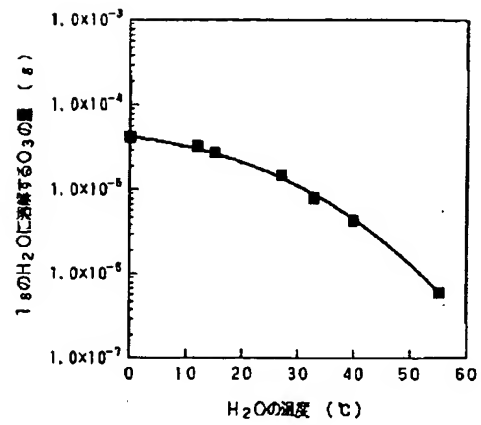
【符号の説明】

- 1 成膜室
- 2 上部電極
- 3 メッシュ電極
- 5 温調ステージ
- 6 ヒータ
- 7 冷却配管
- 8 溶解槽
- 9 導入管
- 10 送液管
- 11 超音波振動子
- 13 RF電源
- 21 絶縁基板
- 22 Al系配線パターン
- 23  $SiO_x$ 層間絶縁膜
- 23a 基板上生成物
- 23b 気相中生成物

【図3】

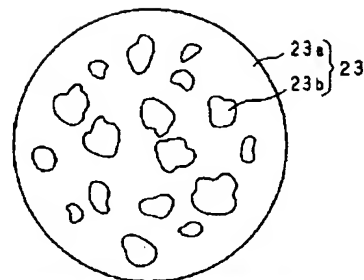


【図2】



本発明の成長装置の一例

【図5】



本発明で成膜されるSiO<sub>x</sub>層間絶縁膜の組織

DERWENT-ACC-NO: 1997-027041

DERWENT-WEEK: 199703

COPYRIGHT 1999 DERWENT INFORMATION LTD

TITLE: CVD appts for semiconductor device  
mfr - in which insulating film of silicon oxide is  
formed due to reaction of residual silane gas and  
dissolved ozone gas

PATENT-ASSIGNEE: SONY CORP[SONY]

PRIORITY-DATA: 1995JP-0092837 (April 18, 1995)

PATENT-FAMILY:

PUB-NO	PAGES	PUB-DATE	MAIN-IPC
JP 08288271 A		November 1, 1996	N/A
006	H01L 021/31		

APPLICATION-DATA:

PUB-NO	APPL-DATE	APPL-DESCRIPTOR	APPL-NO
JP 08288271A		N/A	
1995JP-0092837		April 18, 1995	

INT-CL (IPC): H01L021/205, H01L021/31 , H01L021/316 ,  
H05H001/46

ABSTRACTED-PUB-NO: JP 08288271A

BASIC-ABSTRACT:

The appts includes a mesh electrode (3) arranged between an upper electrode (2) and a substrate stage (5), within a film forming chamber (1). A gas mixture of SiH<sub>4</sub>/O<sub>2</sub> is supplied to the upper electrode, thereby forming plasma (P). A dissolution tank (8) containing water is arranged externally to the film

formation chamber. An O<sub>3</sub> introduction pipe (9) is inserted into the tank.

Water is introduced into the chamber through a liquid feed pipe (10).

An ultrasonic vibrator (11) and an annular nozzle (10a) are fitted at the end part of the feed pipe. Aerosol is fed to a wafer (W) by the ultrasonic vibrator. A plasma film of SiO<sub>x</sub> impurity is deposited over the wafer. The SiH<sub>4</sub> residual gas and the residual dissolved O<sub>3</sub> reacts on the wafer. Thus, an insulation film of SiO<sub>x</sub> is formed.

ADVANTAGE - Contributes to high integration density.  
Improves efficiency and reliability. Excels in planarisation characteristics and quality.

CHOSEN-DRAWING: Dwg.1/5

TITLE-TERMS: CVD APPARATUS SEMICONDUCTOR DEVICE MANUFACTURE  
INSULATE FILM

SILICON OXIDE FORMING REACT RESIDUE SILANE GAS  
DISSOLVE OZONE GAS

ADDL-INDEXING-TERMS:  
VLSI ULSI

DERWENT-CLASS: L03 U11

CPI-CODES: L04-C11C; L04-C12A; L04-D01;

EPI-CODES: U11-C05B2; U11-C05B5;

SECONDARY-ACC-NO:

CPI Secondary Accession Numbers: C1997-008329

Non-CPI Secondary Accession Numbers: N1997-022806



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**